



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jarkko Heikkilä

MITTAUSTEKNIIKAN KEHITTÄMINEN OHUTLEVYTUOTANNOSSA

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jarkko Heikkilä
Opinnäytetyön nimi	Mittaustekniikan kehittäminen ohutlevytuotannossa
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	32 + 2 liitettä
Ohjaaja	Osku Hirvonen

Opinnäytetyö tehtiin paikalliselle konepajayritykselle. Työn tarkoituksena oli tutkia omavalmisteisten ohutlevytuotteiden mittaamista ja sen pohjalta kartoittaa erilaisia vaihtoehtoja mittaustekniikan kehittämiseksi. Työn tavoitteisiin kuului selvittää mittaamisen nykytila sekä erilaisten kehitysehdotuksien kartoittaminen.

Työn tekeminen perustui empiiriseen tutkimukseen ja havainnointiin paikanpäällä sekä työntekijöiden haastatteluihin. Työ aloitettiin selvittämällä mittaamisen nykytila. Tämän jälkeen tutkittiin tarkastusvaiheen toimintaa ja lopuksi tehtiin mittaussysteeminanalyysi, joka pohjautui mittaustestiin Gage R&R:ään.

Lopputuloksena saatiin selvitys mittaamisen nykytilasta, lyhyt analyysi mittaamisesta sekä muutamia kehitysehdotuksia.

ABSTRACT

Author	Jarkko Heikkilä
Title	Development of measurement technology in sheet metal production
Year	2017
Language	Finnish
Pages	32 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Osku Hirvonen

This thesis was made for a local metal company. The subject of this thesis was to improve measurement in sheet metal production and to explore different options for the development of measurement. The objective of this thesis was to find out the current state of measurement in the production and inspection phases and finding various development suggestions.

The work was based on empirical research, on-site observation and on employee interviews. The task was started by finding out the current state of measurement. And after that the operation of the inspection phase was examined and finally an analysis of the measurement system based on the Gage R&R test was made.

The final result is a survey of the current state of measurement, a brief analysis of measurement and a few development suggestions.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO JA KOHDEYRITYS	7
2	MITTAAMINEN TEOLLISUUDESSA	8
2.1	Ohjeet	8
2.1.1	Kalibrointiohje	8
2.2.2	Mittausohje.....	9
2.3	Mittalaitteet	9
2.4	Olosuhteet	10
2.5	Mittausepävarmuus	10
2.5.1	Mittausprosessi.....	11
2.5.2	MSA	12
2.5.3	GAGE R&R	13
3	MITTAAMISEN NYKYTILA	17
3.1	Ohutlevytuotannon valmistusvaiheet	17
3.1.1	Särmäys	18
3.1.2	Hitsauskokoontaminen	18
3.2	Tarkastusvaiheen nykytila.....	19
3.3	Mittaamisen lähtökohdat	19
3.3.1	Standardit	20
3.3.2	Olosuhteet	21
3.4	Asiakasvierailu	21
4	TUTKIMUS	23
4.1	Seuranta.....	23

4.2	MSA	23
4.3	Laitehankintaehdotuksia	24
4.3.1	Digitaalinen rullamitta	24
4.3.2	FARO Gage.....	25
4.3.2	Mittauspöytä.....	27
5	TULOKSET JA YHTEENVETO	29
5.1	MSA	29
5.2	Kehitysehdotukset.....	30
5.3	Yhteenveto	31
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	

TAULUKKO-, KUVA- JA LIITELUETTELO

Taulukko 1. Olosuhdevaatimukset tuotantotiloissa	s.11
Taulukko 2. Esimerkki lyhyestä RR-tutkimuksesta	s.15
Taulukko 3. Taulukko, josta saadaan vakio d_2	s.16
Kuva 1. Mittausprosessiin vaikuttavat tekijät	s.13
Kuva 2. Mittauksen vaikutus prosessin tai tuotteen vaihteluun	s.17
Kuva 3. Tuotannon vaiheet	s.19
Kuva 4. Vogel digitaalinen rullamitta	s.25
Kuva 5. FARO Gage nivelsimittauskone	s.26
Kuva 6. Valurauta pöytä	s.27
Kuva 7. Graniitti pöytä	s.28
Kuva 8. Gage R&R: Total gage-arvo	s.29
Kuva 9. Gage R&R: Kappalekohtaiset vaihteluvälit	s.30
Liite 1. Taulukko seurantapäivistä.	
Liite 2. Gage R&R -testin tulokset.	

1 JOHDANTO JA KOHDEYRITYS

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja mittaustekniikan soveltamiselle ohutlevytuotannossa sekä selvitettiin yrityksen mittaustekninen nykytila. Työnantajana toimi konepajayritys ja työ keskittyi omavalmistettujen ohutlevytuotteiden mittaamiseen valmistuksessa sekä lopputarkastuksessa. Yritys halusi kehittää laatutasoaan, jotta he pystyisivät vastaamaan asiakkaiden vaatimuksiin. Koska suurin osa tuotteista on valmistettu ohutlevystä, päätettiin keskittyä niihin ja rajata pois välitystuotteet sekä valmiit komponentit. Työ aloitettiin selvittämällä mittaamisen nykytila tutkimalla nykyisiä toimintatapoja ja menetelmiä. Seuraavaksi tutkittiin ja analysoitiin mittaamista tarkastusvaiheessa ja lopuksi selvitettiin kehittämismahdollisuuksia ja tehtiin yhteenveto opinnäytetyön eri vaiheista.

Tämän opinnäytetyön tilaaja oli paikallinen konepajayritys. Yritys on perustettu yli 40 vuotta sitten. Yrityksen toimialaan kuuluu koneenosien ja metallituotteiden suunnittelu, valmistus ja myynti. Yritys työllistää noin 60 henkilöä ja vuoden 2016 liikevaihto oli noin 13 miljoonaa euroa. Erikoisuutena on hyvin pitkälle automatisoitu levylinja. Tuotanto on rakennettu automaattivaraston ympärille. Työntekijät levytyökeskuksilla ja särmäyskoneilla tilaavat tarvittavat materiaalit tietokoneella ja automaattivarasto toimittaa tarvittavat materiaalit työstökoneelle.

2 MITTAAMINEN TEOLLISUUDESSA

Mittaukset ovat tärkeä osa kaikkea tuotantotoimintaa. Mittauksilla kerätään luotettavaa tietoa tuotannon eri vaiheista, jota voidaan käyttää hyväksi tuotannon kehittämisessä. Teollisuudessa mittauksia suoritetaan valmistuksen ohella sekä laaduntarkastuksessa. Teknisissä piirustuksissa on määritelty vaaditut mitat, joita valmistettavissa tuotteissa vaaditaan. Mittauksien avulla varmistetaan valmistuneen tuotteen oikeellisuus. /1/

Yrityksen mittaustoiminta voidaan organisoida monella eri tavalla, mutta tälle toiminnalle on edullista sen selkeys. Asiakassuhteet edellyttävät, että mittaustoiminta on oikeassa suhteessa sidoksissa kotimaiseen ja kansainväliseen mittausjärjestelmään sekä siihen liittyviin standardeihin. Suuri osa tuotantoon liittyvistä mittauksista tehdään valmistuksen yhteydessä, jolloin mittauslaitteiden ominaisuudet ja päivittäiset kalibroinnit ovat avainasemassa. Mittausten yksi tarkoitus on laatuja järjestelmän osana parantaa yrityksen kannattavuutta. /1/

2.1 Ohjeet

Yrityksien käyttöön on luotu paljon erilaisia ohjeita toiminnan kehittämiseksi. Ohjeiden tulee olla kirjallisina, koska tällöin niitä voidaan arvioida ja päivittää helpommin. Ohjeista tulisi olla sekä virallinen versio että pikaohje, joka on nopeammin saatavilla ongelmatilanteissa. Ainakin seuraavat mittaamiseen liittyvät ohjeet tulisi löytyä yrityksen käytöstä: Kalibrointiohje ja mittausohje. /1/

2.1.1 Kalibrointiohje

Mittavälineiden kunto ja kalibrointi ovat ensisijaisen tärkeitä tekijöitä mittauksia suoritettaessa. Kalibrointiohjeessa kerrotaan tarkasti mitkä ja milloin toiminnan kannalta tärkeät mittavälineet on kalibroitava. Mittavälineet on luetteloitu ja merkitty juoksevalla numerolla sekä kalibrointitarralla. Toimipisteissä on mittavälineiden tarkastukseen tarkoitetut mittanormaalit, joilla mittavälineet voidaan kalibroida. Mittavälinevastaavat ovat vastuussa mittavälineiden vuositarkastuksista, uusien mittalaitteiden merkitsemisestä luetteloon,

mittanormaalien ja mittalaitedokumenttien säilytyksestä. Lisäksi ohjeessa kerrotaan tarkemmin mittalaittekohtaisesti kalibrointiohjeet.

2.2.2 Mittausohje

Mittausten kirjallinen ohjeistaminen on välttämätöntä. Kuten kaikissa laatuasioissa, vain kirjalliset toimintaohjeet voidaan arvioida. Kirjoitettu ohje palvelee ainakin neljää asiaa:

1. Toimii mittausohjeena, josta mittaaja voi tarvittaessa tarkistaa unohtuneen tai epäselvän asian.
2. Toimii uusien mittaajien koulutusmateriaalina.
3. Haluttaessa näyttää ulkopuolisille arvioijalle tai asiakkaalle, miten toimitaan.
4. Ohje antaa perusteet mittausepävarmuuden määrittämiselle.

Valmiita mittausohjeita on saatavissa useista lähteistä: MIKESin kalibrointikansio, IVF-ohjeet ja niistä käännetyt METin tekniset tiedotukset 1/76 Mittauslaitteiden kalibrointi ja käsittely ja 6/78 Mittauslaitteiden kalibrointi ja käsittely osa 2, DIN käsikirja 122, EA:n julkaisemat ohjeet. Halutessaan yritys voi tehdä kokonaan omia mittausohjeita tai soveltaa valmiita ohjeita omiin tarpeisiin. /1/

2.3 Mittalaitteet

Käsitönnöiset mittavälineet muodostavat mittavälineistön massan. Ne sopivat lähes kaikkialle ja yleisesti ajatellaan, että kaikki osaavat käyttää niitä. Käsitönnöisten mittavälineiden hinta on kovasta kilpailusta johtuen sopivan alhainen. Tavanomaisimpia käsitönnöisiä mittavälineitä teollisuudessa ovat: Rullamitta, työntömitta, astekulma, suorakulma sekä mikrometri. Niiden merkitys laadunvarmistuksessa on suuri ja ne on ehdottomasti liitettävä kalibrointijärjestelmään. Tämä tarkoittaa mittausepävarmuuden ja hyväksymisrajojen määrittämistä, säännöllisiä huoltoja sekä kalibrointeja. /1/

2.4 Olosuhteet

Mittaustilanteissa ympäristöolosuhteilla on todella tärkeä merkitys. Tilojen toimivuus on osa tätä kokonaisuutta. Tavanomaisimpia olosuhteiden ominaisuuksia ovat: lämpötila, kosteus, värähtely, valaistus, puhtaus ja melu. Koska suurin osa mittaamisesta tapahtuu tuotannon yhteydessä samoissa tuotantotiloissa, täytyy tuotantotiloille asettaa mittaamisen kannalta vaatimuksia. Se, miten ja millaisia olosuhteiden vaatimuksia täytyy asettaa, riippuu ainakin seuraavista asioista: mitä mitataan, miten mitataan ja miten paljon mitataan. Taulukkoon 1 on määritelty olosuhdevaatimukset tuotantotiloissa. /1/

Taulukko 1. Olosuhdevaatimukset tuotantotiloissa. /1/

Ominaisuus		Korkeatasoinen kalibrointi	Vaativat mittaukset ja tavalliset kalibroinnit	Normaalit mittaukset ja vaatimattomat kalibroinnit	Välttävät mittaukset
Lämpötila työtasossa		20 °C ± 0,5 °C	20 °C ± 1 °C	19 ... 24 °C	15 ... 25 °C
Lämpötilaerot tilan eri osissa		Maks. 0,6 °C	Maks. 2 °C	Maks. 4 °C	–
Lämpötilan vaihtelu tunnissa		Maks. 0,1 °C	Maks. 0,3 °C	Maks. 1 °C	Maks. 1,5 °C
Lämpötilan vaihtelu vuorokaudessa		Maks. 0,6 °C	Maks. 1 °C	–	–
Ilman suhteellinen kosteus		35 ... 55 %	35 ... 55 %	20 ... 70 %	Maks. 80 %
Värähtelyt	Amplitudi/ Taajuus	0,25 µm/200 Hz ... 3 µm/5 Hz	1 µm/20 Hz ... 3 µm/10 Hz	Ei selvästi havaittavaa tärinää	Ei selvästi häiritsevää tärinää
Valaistus		800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	500 ... 1500 lux
Puhtaus	Koko	< 0,5 µm	< 5 µm	Puhtaudesta huolehditaan hyvin	Puhtaudesta huolehditaan normaalisti
	Määrä	3 x 10 ⁷ kpl/m ³	1 x 10 ⁷ kpl/m ³		
Ilman virtausnopeus		< 150 mm/min	< 300 mm/min	Ei tuntuvaa vetoa	Ei selvästi tuntuvaa vetoa
Melu		< 40 dBA	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

2.5 Mittausepävarmuus

Jokaiseen mitattavaan kohteeseen liittyy mittausepävarmuus. Se miten suuri tai pieni mittausepävarmuus on, vaikuttaa moneen asiaan. Tärkeintä on kuitenkin tietää, mikä mittausepävarmuus kussakin mittauksessa on. Mittausepävarmuus voi johtua: mittalaitteesta, mittauskohteesta, mittaajasta, olosuhteista ja käytetystä menettelystä. /1/

Mittausepävarmuuden yksityiskohtainen ja tarkka määrittäminen ilman koetoimintaa ei ole mahdollista. Kokein voidaan aina selvittää se osa

mittausepävarmuudesta, joka johtuu erilaisista virhelähteistä. Kaikkiin mittauksiin liittyvä satunnainen vaihtelu on yksi keskeisimpiä kohteita mittausepävarmuuslaskennoissa. Se on aina helposti saatavilla toistamalla mittauksia. Mittausepävarmuuslaskelmassa satunnaisvirheen vaikutus saadaan toistettujen mittausten keskihajonnasta. /1/

Kaava keskihajonnalle on $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x})^2}{n}}$ (1)

2.5.1 Mittausprosessi

Mittausta voidaan kuvata prosessina. Se sisältää lukuisia tekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustulokseen, mittausvirheeseen ja mittausepävarmuuteen. Mittaussysteemiä tulisi pyrkiä kehittämään jatkuvasti. Tällöin löydettäisiin uusia menetelmiä parempien mittaustulosten saamiseksi sekä poistettaisiin mahdollisia virhetekijöitä. Mittaussysteemillä tarkoitetaan nykyään mitä tahansa asiaa millä kerätään tietoa kohteesta, esimerkiksi ihminen, kello tai rullamitta. Mittaussysteemi voi olla myös yhdistelmiä laitteita, ihmisiä ja menetelmiä. Jokainen laite on myös oma systeeminsä, mikä tarkoittaa sitä kun laite todetaan luotettavaksi, ei muut samanlaiset välttämättä ole. Kuvassa 1 on eri tekijöitä, jotka vaikuttavat mittausprosessiin. /1/



Kuva 1. Mittausprosessiin vaikuttavat tekijät. /1/

2.5.2 MSA

Jos mittaussysteemi ei toimi kunnolla, se voi olla syy, joka aiheuttaa negatiivisen vaikutuksen kyvykkyyteen. Jos ongelmien lähde on mittaus, organisaatio saattaa tietämättään hylätä oikein tehtyjä tuotteita ja hyväksyä virheellisiä tuotteita. Vielä suurempi ongelma on, jos kuvitellaan virheiden tulevan tuotannosta vaikka ne tulevatkin mittauksesta. Tästä syystä on tärkeä selvittää, onko mittaussysteemi luotettava vai ei. Mittaussysteemin analysointi (MSA) on hyvä työkalu selvittämään mittaussysteemin luotettavuutta. MSA on sarja suunniteltuja testejä, jotka mahdollistavat organisaatiolle mittaussysteemin luotettavuuden määrittämisen. Mittaussysteemin tutkimus kertoo prosenteissa kuinka suuri osa

vaihtelusta tulee mittausprosessin virheistä. MSA:n avulla voidaan myös verrata kahta tai useampaa mittalaitetta tai mittaaajaa. /2/

2.5.3 GAGE R&R

Gage R&R on luotettavuustesti, joka testaa mittaaajaa ja mittalaitetta. Testi tutkii toistettavuuden ja uusittavuuden yhteisvaikutusta ja antaa hyvän kuvan mittaussysteemin luotettavuudesta. Toistettavuudella tarkoitetaan yhden mittaaajan mittaustulosten vaihtelua, kun mitataan samaa tuotetta samalla mittalaitteella useita kertoja. Uusittavuudella puolestaan tarkoitetaan mittavaihtelua kun useat eri mittajat mittaavat samaa kohdetta samalla mittalaitteella. /1/

R&R-testejä on olemassa kolme erilaista: lyhyt testi, pitkä testi ja aistinvarainen testi. Aistinvarainen testi ei varsinaisesti liity mittausepävarmuuteen, sillä se perustuu aistihavaintoihin eikä mittaamiseen. /1/

Lyhyessä R&R-testissä tarvitaan vain yksi mittaja, joka suorittaa mittaukset yhdelle tai useammalle kappaleelle suositeltavasti kolme kertaa. Tulokset kirjataan taulukon 2 mukaisesti ja saman kappaleen mittaustulosten suurimpien erojen keskiarvo kerrotaan RR-kertoimella 5.15 ja jaetaan taulukosta 3 saatavalla vakiolla d_2 , jonka suuruus määräytyy mitattavien kappaleitten ja toistojen lukumäärän mukaan. Saatu arvo kertoo mittajaan satunnaisvirhettä 99 % luotettavuustasolla. /1/

Taulukko 2. Esimerkki lyhyestä RR-tutkimuksesta. /1/

RR-tutkimus, lyhyt menetelmä							
Mittaja:	Heikki Lehto						
Anna mittausten toistomäärä:	3	kertaa	(Jos kertoja = 2 korjaa sarake ERO)				
Anna kappaleiden lukumäärä:	10	kpl					
Mittalaite ja resoluutio:	Mikrometri 1/1000 mm						
Koekappale:	RR-kappale (teräsmäntä)						
KPL toleranssi:	0.023	mm					
Päivämäärä ja paikka:	27.5.99 Lappeenranta						
Mittaja	A	B	C		Oikea	Mittaus	
No.	1. koe	2. koe	3. koe	Ero	arvo	virhe	
1	19.619	19.619	19.619	0.000	19.619	0.000	
2	19.612	19.612	19.612	0.000	19.614	-0.002	
3	19.608	19.608	19.607	0.001	19.610	-0.002	
4	19.622	19.622	19.623	0.001	19.622	0.000	
5	19.615	19.616	19.615	0.001	19.615	0.000	
6	19.611	19.610	19.611	0.001	19.612	-0.001	
7	19.608	19.609	19.608	0.001	19.611	-0.003	
8	19.614	19.614	19.613	0.001	19.616	-0.002	
9	19.615	19.615	19.615	0.000	19.616	-0.001	
10	19.606	19.606	19.606	0.000	19.608	-0.002	
Yhteensä	196.1300	196.1310	196.1290	0.0060			
		196.1300	R	0.0006			
		196.1290					
	Sum	588.3900					
	Xa	19.6130					
Valitse d2 arvo taulukon 3 sarakkeesta 3 riviltä:				10			
		=====>	D2 =	1.72			
LASKENTAA:							
RR-luku:							
RR = 5,15* R/(d2) =	0.0018	mm (=epävarmuus ilman systemaattisia virheitä)					
RR-prosentti:							
RR% =RR/ dL *100 =	7.81	% toleranssista					

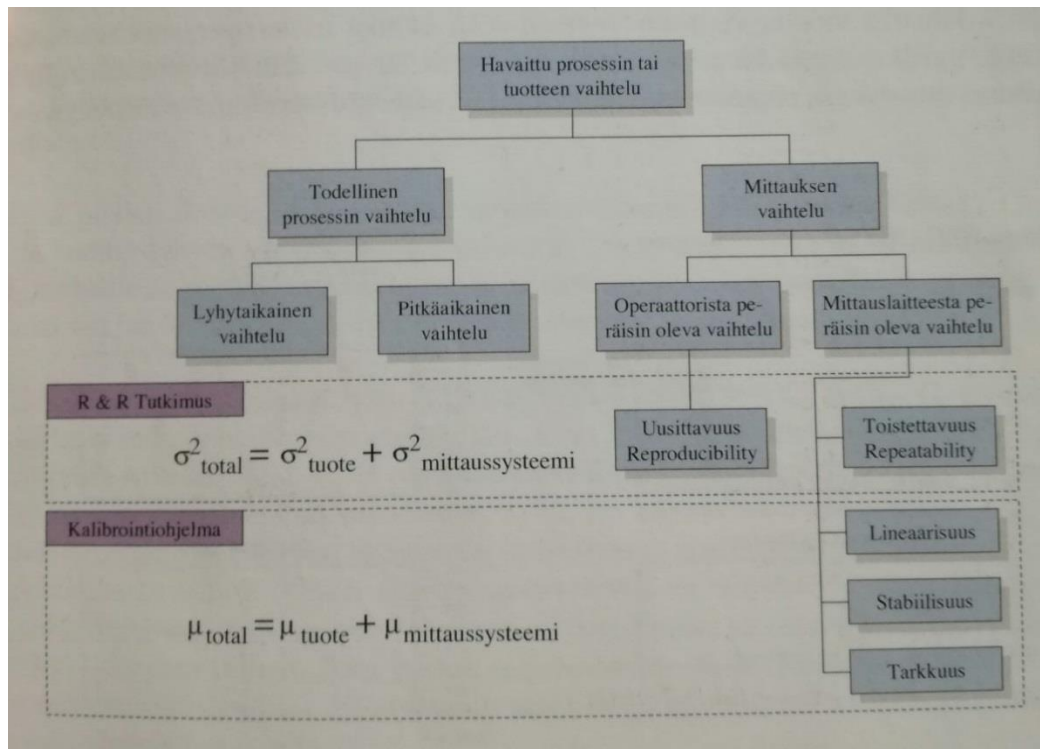
Taulukko 3. Taulukko, josta saadaan vakio d_2 /1/

Mittauskertoja →							
Mittaja	Kpl	2	3	4	5	6	7
x	1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83
kappaleita	2	1,28	1,81	2,15	2,4	2,6	2,77
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74
	5	1,19	1,74	2,1	2,36	2,56	2,73
	6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72
	8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72
	11	1,16	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71
	>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704

Pitkässä R&R-testissä erona lyhyeen testiin on mitaajien lukumäärä. Tulosten käsittely ja testistä saatavat tulokset ovat erilaisia. Pitkässä testissä mittauslaitteesta ja mitaajasta johtuvat virheet voidaan erotella toisistaan. /1/ Gage R&R tutkimusta olisi suositeltavaa käyttää aina kun verrataan mittalaitteita, arvioidaan epäilyttämittalaitetta, uuden laitteen hankinnassa sekä määritettäessä todellisen prosessin

vaihtelua. Kuvassa 2 nähdään mittauksen vaikutus prosessin tai tuotteen vaihteluun.

/2/



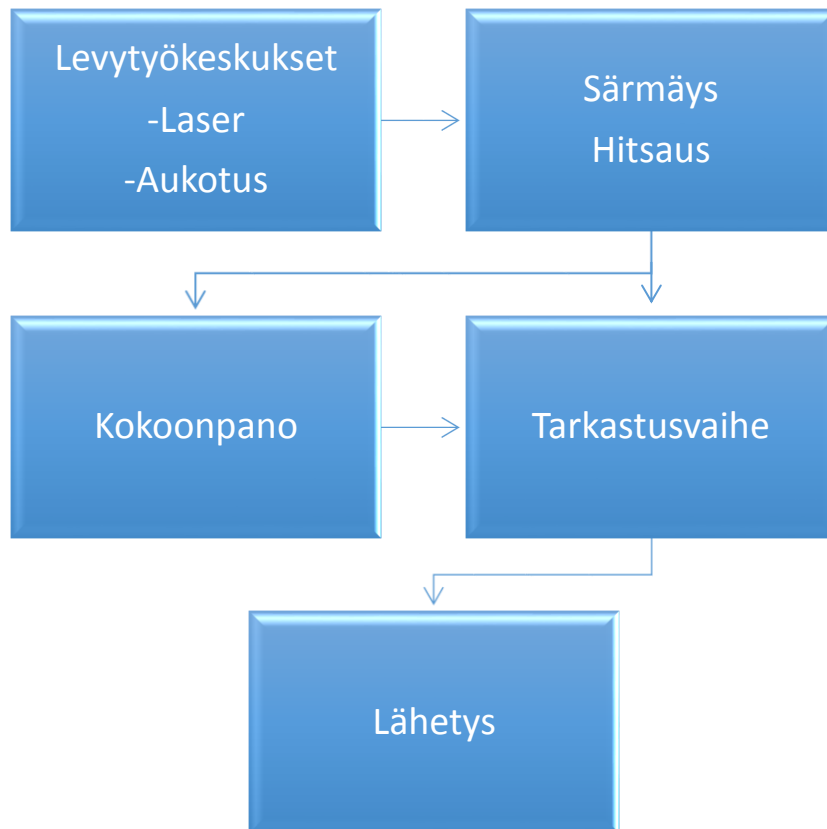
Kuva 2. Mittauksen vaikutus prosessin tai tuotteen vaihteluun. /2/

3 MITTAAMISEN NYKYTILA

Kohdeyrityksen ohutlevytuotanto keskittyy pääasiassa asiakkaalle toimitettaviin eriste- ja suojakoteloiden valmistukseen. Tuotteet ovat oleellinen osa asiakkaan moottoreiden lämmöneristys- ja henkilövahinkojen ehkäisemisessä. Tässä luvussa esitellään ohutlevytuotannon valmistusvaiheet sekä perehdytään tarkastusvaiheen toimintatapoihin sekä vallitseviin olosuhteisiin.

3.1 Ohutlevytuotannon valmistusvaiheet

Ohutlevyn työstövaihe alkaa, kun levyt siirretään varastosta levytyökeskuksille. Pääosa leikkaamisesta tehdään monitoimilaserilla ja aukotuskoneella. Leikkauksen jälkeen osat siirretään automaattivarastoon odottamaan seuraavaa vaihetta, joka on särmäys tai hitsaus. Särmäyslinjalla taivutuskoneita on käytettävissä kuusi kappaletta. Särmäyksessä leikkeet saavat vaaditun muodon. Kappaleen kaikki särmäykset tehdään pääosin samalla koneella. Taivutuksen jälkeen osat siirretään paletille tai lavoil, joista ne haetaan seuraavaan vaiheeseen. Tämän jälkeen vuorossa on kokoonpano, hitsauskokoonpano tai joissain tapauksissa osa on jo sellaisenaan valmis lähetettäväksi. Jokaista työvaihetta seurataan ja päivitetään tuotannonohjausjärjestelmässä (Lean). Työ kuitataan aloitetuksi ja sen suorituksen jälkeen vaihe merkitään valmiiksi. Kuvassa 3 on esitelty ohutlevytuotannon eri vaiheet.



Kuva 3. Tuotannon vaiheet.

3.1.1 Särmäys

Ennen särmäämistä laserilla leikatut levyt täytyy valmistella, mikä tarkoittaa tarvittavien osien irrottamista levystä. Työntekijä valitsee särmäyskoneelle ohjelman tai tekee sen itse, jos valmista ohjelmaa ei ole saatavilla, ja vaihtaa tämän jälkeen särmäysterät tarvittavan kappaleen mukaan. Ensimmäistä valmista osaa verrataan aluksi silmämääräisesti piirustuksiin ja tarkistetaan näin osien oikeellisuus. Samalla tarkistetaan päämitat ja kulmat sekä reikien sijainnit. Tämän jälkeen sarjan loput osat särmätään valmiiksi.

3.1.2 Hitsauskokoonpano

Hitsaukseen osat saapuvat joko levytyökeskuksilta tai särmäyskoneilta. Kaikki saman tuotteen puolivalmisteet kerätään samalle lavalle hitsauskokoonpanoa varten. Työvaihe kuitataan aloitetuksi, jonka jälkeen tuotteen osat tarkastetaan silmämääräisesti vertaamalla niitä piirustuksiin. Tämän jälkeen osat liitetään yhteen

ohjeiden mukaisesti hitsaamalla ne TIG/MIG -hitsauksella tai pistehitsaamalla. Osa levyistä liitetään yhteen vetoniiteillä ja tuotteisiin asennetaan tarvittavat mutteriniitit ja erilaiset salvat sekä rivat.

3.2 Tarkastusvaiheen nykytila

Kaikki omavalmisteiset tuotteet kulkevat lopputarkastuksen kautta ennen niiden päättymistä lähettämöön. Tarkastettavat tuotteet ovat lattialla tai pöydillä tarkastamon alueella kappaleen koon mukaan. Lähtökohtaisesti otantana on jokainen tuote. Poikkeuksina suuremmat tuotantoerät, joista mitataan muutamia kappaleita ja sen jälkeen vertaillaan loppuja tuotteita tarkastettuihin. Tarkastaja vertaa tuotteita asiakkaan tai työsuunnittelun tekemiin piirustuksiin. Silmäämääräisesti voidaan huomata esimerkiksi peilikuva- ja taivutusvirheet ja maalaamosta tulleiden osien kiertetäytyy avata valuneen maalin poistamiseksi. Mittaamalla saadaan tarkistettua tuotteen toimivuuden kannalta tärkeät mitat virheiden varalta. Tarkistuksen jälkeen tuotteet merkitään mukana tuleviin dokumentteihin hyväksytyksi tai hylätyksi. Hyväksytyt jatkavat matkaa lähettämöön. Hylätystä tuotteesta tehdään sisäinen reklamaatio ja merkitään selvästi. Tämän jälkeen tuote siirretään erilleen muista tuotteista odottamaan seuraavaa toimenpidettä. Reklamoitu tuote tilanteen mukaan korjataan tai hävitetään.

Yleisimpiä ohutlevyosien tarkastettavia piirteitä ovat tasojen väliset kulmat, piirteiden, esimerkiksi reikien oikean sijainnin tarkistus tai muiden piirteiden oikeanlaisen asennuksen tarkastus, esimerkiksi mutteriniitit ja erilaiset rivat ja lukitussalvat.

3.3 Mittaamisen lähtökohdat

Tällä hetkellä valmistus- ja tarkastusvaiheessa on käytössä peruskäsitteitä mittavälineitä. Näitä mittavälineitä ovat esimerkiksi: työntömitta, metrimitta, astekulma, suorakulma sekä erilaiset tulkit. Näillä mittavälineillä saavutetaan ohutlevytuotteille tarvittava tarkkuus.

3.3.1 Standardit

Valmistuksessa ja lopputarkastuksessa käytetään standardien mukaisia toleransseja mittaamisen apuna. Piirustuksissa on yleensä taulukoitu toleranssirajat ja kyseinen standardi on myös ilmoitettu kappaleen piirustuksissa. Standardisointi varmistaa, että tuotteet sopivat toisiinsa ja mittaaminen toimii sujuvammin. Tarkastusvaiheessa käytetään piirustuksissa ilmoitettuja standardien mukaisia toleransseja ja tilanteissa, joissa toleranssia ei ole ilmoitettu, käytetään yleistoleransseja, jotka on määritelty standardeissa ISO2768-1 ja 2. Tuote mitataan ja selkeästi annetuista mitoista poikkeavat mitat huomioidaan ja tilanteen mukaisesti hylätään.

SFS5803 -standardin tarkoituksena on piirustusten yksinkertaistaminen. Standardissa määritellään neljä yleistoleranssiluokkaa pituus- ja kulmamitoille, saman keskisyydelle ja symmetrisyydelle: f (hieno), m (keskikarkea), c (karkea) ja v (hyvin karkea). Valittaessa toleranssiluokkaa on tavanomainen valmistustarkkuus otettava huomioon. Standardin yleistoleranssit ovat aina voimassa, kun piirustuksissa tai niihin liittyvissä asiakirjoissa viitataan tähän standardiin. /3/

ISO2768-1 ja suomenkielinen versio SFS-EN 22768-1 -standardi määrittelee ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit. Toleranssit tulisi aina olla ilmoitettuna piirustuksissa, jotta voitaisiin varmistua siitä, että kaikkien kappaleiden mitat ja kulmat ovat oikein. Eikä näin ollen mikään kohta jäisi epäselväksi tai valmistuksen tai tarkastuksen arvioitavaksi. Tilanteissa, joissa toleransseja ei ole ilmoitettu, voidaan käyttää tämän standardin yleistoleransseja ja varmistua siitä, että muotojen mitat ovat oikein. /4/

Yllä mainittu standardin osa soveltuu vain seuraaville mitoille, joilla ei ole erillistä toleranssimerkintää. Pituusmitat, kulmamitat sekä pituus- ja kulmamitat, jotka on valmistettu koneistamalla toisiinsa liitetyistä osista. Sallitut poikkeamat ovat ilmoitettu taulukoissa edellä mainitun standardin tavoin ja toleranssit jakautuvat samoihin luokkiin: hieno(f), keskikarkea(m), karkea(c) ja erittäin karkea(v). Useimmiten piirustuksissa käytetään toleranssiluokkaa m, joka kappaleen nimellismitasta riippuen on noin (+/-)0,1-1,2 mm.

ISO 2768-2 ja SFS-EN 22768-2 -standardin toisen osan tarkoitus on yksinkertaistaa piirustusten merkintöjä ja määritellä geometriset yleistoleranssit. Osassa kaksi esitellään kolme yleistoleranssiluokkaa geometrisille toleransseille. Taulukoissa ilmoitetaan suoruuden, tasomaisuuden, ympyrämuotoisuuden ja lieriömuotoisuuden yleistoleranssit. Tarkkuusluokat ovat tarkimmasta lähtien (H) , (K) ja (L). Esimerkki tämän standardin merkinnästä piirustuksissa: ISO-2768-mK. Tässä tapauksessa sovelletaan 2768-1 mukaisia pituus- ja kulmamittojen yleistoleransseja (m) ja osan kaksi kohtisuoruuden yleistoleransseja (K). /5/

3.3.2 Olosuhteet

Tämän hetkiset olosuhteet tuotannossa soveltuvat hyvin mittaamiseen, kun ohutlevy tuotteiden mittausten tarkkuus on useimmiten keskikarkea (0,1 mm-2 mm). Puhtautta ylläpidetään hyvin ja valaistus on suurimmilta osin tarpeeksi hyvä. Tuotantotiloissa meluarvot ylittävät aina suositellun 60dB arvon. Hallissa on todettu meluarvon ylittävän 70dB. Melu ei sinänsä estä mittauksia, mutta häiritsee keskittymistä, joka voi johtaa karkeisiin virheisiin.

Lopputarkastuksen sijainti lähellä lähteviä tavaroita nopeuttaa ja helpottaa tuotevirtaa, mutta alue altistuu samalla useisiin häiriötekijöihin. Suuren liukuoven ollessa auki ilmavirta tuo, varsinkin kesäisin, roskaa ja pölyä sisälle ja lika kulkeutuu lähelle tarkastuspistettä vilkkaan trukki- ja ihmisliikenteen takia. Liikenne voi aiheuttaa mahdollisia henkilövahinkoja sekä häiritä keskittymistä. Tarkastuspisteen pöydät ovat korkeussäädettäviä kokoonpanopöytiä, joissa päällysteenä on kumimatto.

3.4 Asiakasvierailu

Kävin tutustumassa kohdeyrityksen tärkeän asiakkaan käytäntöihin ja tiloihin missä kohdeyrityksen ohutlevy tuotteita mitataan. Vierailusta sai uusia ideoita mittaamisen kehittämiseksi ja vertailun vuoksi oli rakentavaa nähdä miten asiakas todentaa heille toimitetut ohutlevy tuotteet. Päivän aluksi kävimme läpi etukäteen lähettämäni kysymykset, ne koskivat ohutlevy tuotteiden mittaamista, olosuhteiden vaikutuksia sekä ohjeistuksia.

Asiakkaalle toimitetut ohutlevyosat kulkeutuvat suoraan tuotantoon ja varsinaisia tarkastuksia ei suoriteta muuta kuin silmämääräisesti. Tuotteet pääsevät asennusvaiheeseen ja ongelmatilanteissa, joissa tuote ei sovi paikoilleen, tehdään vikailmoitus ja tarvittavat mittaukset tuotteen tarkastamiseksi. Vialliset tuotteet aiheuttavat häiriötä ja keskeytyksiä asiakkaan valmistusprosessiin. Asiakkaan reklamaatioista seuraa ylimääräisiä kustannuksia, sekä yrityksen maine kärsii huonon laadun vuoksi. Tämän vuoksi laaduntuottokyky pitää saada tasolle, minkä asiakas hyväksyy ja jonka avulla asiakassuhde säilyy hyvällä tasolla. Ohutlevytuotteiden mittaamiseen asiakkaalla on käytössä käsikäyttöisten mittalaitteiden (rullamitta, työntömitta, astekulma jne..) lisäksi pystymittalaitteita sekä Faro-nivelvarsimittauskone.

4 TUTKIMUS

Nykytilan selvittämisen jälkeen aloitettiin lopputarkastusvaiheen seuranta tutustumalla tarkastajien rutiineihin sekä päivittäisiin toimenpiteisiin. Tarkastuspisteen seuraaminen antoi hyvän pohjan kehitysideoille. Ohutlevytuotevalikoiman ollessa niin laaja, valittiin otannaksi muutaman päivän aikana kulkeva tuotemäärä. Tutkimuksen havainnot perustuvat tarkastajien haastatteluihin sekä omiin havaintoihin.

4.1 Seuranta

Aamuisin on tarkastusvaiheen ruuhkaisin aika kun valmistuneita tuotteita on kerääntynyt enemmän. Lähettämön työntekijät tuovat tuotteet tarkastuspisteelle ja tuotteiden mukana kulkeutuvat tekniset piirustukset sekä lähetysdokumentit. Mittauspöydät olivat täynnä tuotteita, joten tilaa mittaamiselle oli vähän. Päivän mittaan kuormitus vähenee ja uusia tuotteita tulee tarkastettavaksi vähemmän. Tarkastajan yleisimpiin toimenpiteisiin kuuluu luonnollisesti silmämääräinen tarkistus, joka tarkentui eniten reikien sijainteihin sekä taivutusten oikeellisuuden varmistamiseksi. Maalattuja tuotteita oli myös paljon, joten aikaa kului kierteiden avaamiseen. Mittaamista oli lopulta aika vähän, vain joitakin mittoja tuotteista mitattiin, esimerkiksi liitoskohdat sekä tärkeämmät sivut, jotka vaikuttavat tuotteen asennuskelpoisuuteen. Kaikkia mittoja ei tarvitse välttämättä mitata, sillä ohutlevytuotteiden kaikki piirteet eivät aina ole oleellisia tuotteen toimivuuden kannalta. Kokenut tarkastaja tietää tilanteen mukaan, mitkä mitat täytyy mitata. Liitteessä 1 lyhyet otteet perjantain 28.3 ja tiistain 18.4 aamun tarkastetuista tuotteista.

4.2 MSA

Mittaussysteemin analyysi aloitettiin suorittamalla testi Gage R&R. Testin tulosten ja kokemusten pohjalta aloitettiin mittaussysteemin analysoiminen. Gage-testiä varten käytettiin valmista excel-pohjaa, joka osasi laskea halutut arvot. Testi päätettiin tehdä kymmenelle eri kappaleelle ja mittaajiksi valittiin kolme työntekijää, joista kaksi oli laaduntarkastajia ja yksi kokoonpanija. Jokainen mittaaja mittaa kolme kertaa saman pituusmitan kustakin kappaleesta, koska

useammalla mittaajalla ja mittauskerralla saadaan luotettavampi tulos. Testikappaleeksi valittiin tavallinen ohutlevyosa, jota valmistetaan kohtalaisen paljon. Osat ovat saman tuotantoerän peräkkäisiä kappaleita, mikä ei ole suositeltavaa testiä tehdessä, koska tämä pienentää osien vaihtelua (Part variation). Mittalaitteena käytettiin digitaalista työntömittaa, jonka mittausalue on 0-150 mm ja tarkkuus 0.01 mm. Kappaleet numeroitiin ja tämän jälkeen testi oli valmiina aloitettavaksi.

Mittaajat aloittivat mittaamisen yksitellen. Kappaleita tutkittiin satunnaisessa järjestyksessä, jolloin mahdollinen edellisten tulosten muistaminen ei vaikuta tuloksiin. Kun arvot oli syötetty tietokoneelle, valmis excel-pohja laski automaattisesti tulokset. Tuloksista selviää toistettavuus (Repeatability), uusittavuus (Reproducibility) sekä Total Gage R&R-luku, joka kuvastaa kokonaisluotettavuutta. Tuloksissa on myös graafisia taulukoita, joista ilmenee kappaleiden ja eri mittaajien keskiarvot (Average reading) sekä vaihteluvälit (Range).

4.3 Laitehankintaehdotuksia

Seuraavaksi on listattu muutamia laitteita ja apuvälineitä, jotka voisivat parantaa ja nopeuttaa mittaamista tarkastuspisteessä. Kohdeyrityksessä on aikaisemmin tutkittu ja vertailtu 3D-mittalaitteita. Monet vertailun mittalaitteet olivat liian hitaita ja kalliita. Tästä syystä päätin jättää pois tutkimuksesta koordinaattimittauskoneet sekä muut epäkäytännölliset laitteet. Koska koordinaattikoneet on tarkoitettu pääosin koneistettujen osien mittaamiseen ja niiden tarkkuus on tarpeettoman suuri ohutlevytuotteille. Mielestäni tarkastuspisteellä tällä hetkellä tärkeimpiä laitteiden ominaisuuksia ovat nopeus ja helppokäyttöisyys.

4.3.1 Digitaalinen rullamitta

Digitaalinen rullamitta toimii samalla tavalla kuin perinteinen rullamitta. Merkittävänä etuna laitteessa on LCD-näyttö, josta mittaussuureen lukeminen ja näkeminen on helpompaa, kuin perinteisessä mallissa. Laitteen koko ei myöskään poikkea perinteisistä malleista. Rullamitta on tällä hetkellä tarkastusvaiheen

käytetyin mittalaite, joten sen päivittäminen digitaaliseen malliin nopeuttaisi mittaamista tarkastusvaiheessa./8/



Kuva 4. Vogel digitaalinen rullamitta. /8/

Tekniset tiedot	
Pituus	5 m
Nauhan leveys	19 mm
Mitta-asteikko	1 mm
Maksimitarkkuus	(+/-) 1.5 mm
Mitat	75x70x32 mm
Paino	220gr
Hinta	n.50 €

4.3.2 FARO Gage

FARO Gage -nivelsimittauskone on kätevä ja helppokäyttöinen mittauskone, joka on tarkoitettu konepajojen pienekköiden kappaleiden päivittäiseen mittaamiseen. Koneen 1.2 m mittausalue soveltuu moniin eri tilanteisiin ja konetta on nopea käyttää. Mittauskoneen käyttö perustuu kädellä ohjattavaan mittausvarteeseen. FARO Gage -nivelsi koneessa on kaksi erilaista painiketta. Vihreä painike kerää tiedon ja punainen hyväksyy kerätyn tiedon. Mittaaminen

suoritetaan viemällä koneen mittapää halutun mitan toiseen pisteeseen. Tämän jälkeen painetaan varren päässä olevaa painiketta, joka opettaa koneelle pisteen x. Seuraavaksi suoritetaan sama toimenpide mitan toiselle pisteelle. Tulokset päivittyvät reaaliaikaisesti tietokoneen ohjelmistolle, josta näkyvät tarkat lukemat halutusta mitasta. Ohjelmisto tukee CAD-malleja. Koneessa on langaton bluetooth-yhteys sekä nopea pikakiinnitys. Kuvassa 4 on Faro Gage -nivelsimittauskone.

/9/



Kuva 5. FARO Gage -nivelsimittauskone. /9/

Tekniset tiedot	
Mittausalue	1,2m
Tarkkuus	0.018mm (± 0.0007)
Paino	9.1kg
Hinta	15000-25000€

4.3.2 Mittauspöytä

Tarkempia mittauksia varten olisi suositeltavaa olla asianmukainen pöytä. Graniitti- ja valurautapöydät ovat suunniteltuja tarkkoja mittauksia varten. Yleensä näitä pöytiä käytetään mittauslaboratorioissa, mutta monilla valmistajilla löytyy tarkkuusluokituksia pöydille, joista karkeimmat soveltuvat teolliseen mittaamiseen ja tarkistukseen. Tarkkuusluokat on määritelty yleensä seuraavanlaisella tavalla tarkimmasta lähtien: 1/AA , 2/A ja 3/B. 3/B luokitus soveltuu hyvin ohutlevytuotteille. Pöytien eri kokoja on saatavilla paljon tarpeen mukaan. Tällä hetkellä tarkastusvaiheen pöydät toimivat myös säilytyspaikkana, siksi olisi hyvä hankkia tarkka mittauspöytä vain mittaustarkoitukseen. Kuvissa 5 ja 6 ovat esimerkkejä valurauta- ja graniittipöydistä, jotka soveltuvat hyvin mittaamisalustoiksi.

Mitutoyo Cast Iron Surface Plate Series 902 Grade 3

Tekniset tiedot	
Tarkkuus	Luokka 3
Mitat	1000 x 750 x 170 mm
Paino	210 kg
Hinta	n. 1500€



Kuva 6. Valurauta pöytä. /10/

Mitutoyo Granite Surface Plate Grade 2

Tekniset tiedot	
Tarkkuus	Luokka 2
Mitat	1000 x 630 x 100 mm
Paino	189 kg
Maksimi kuorma	300 kg
Hinta	n. 1000€
Jalusta	n. 350€

**Kuva 7.** Graniitti pöytä. /11/

5 TULOKSET JA YHTEENVETO

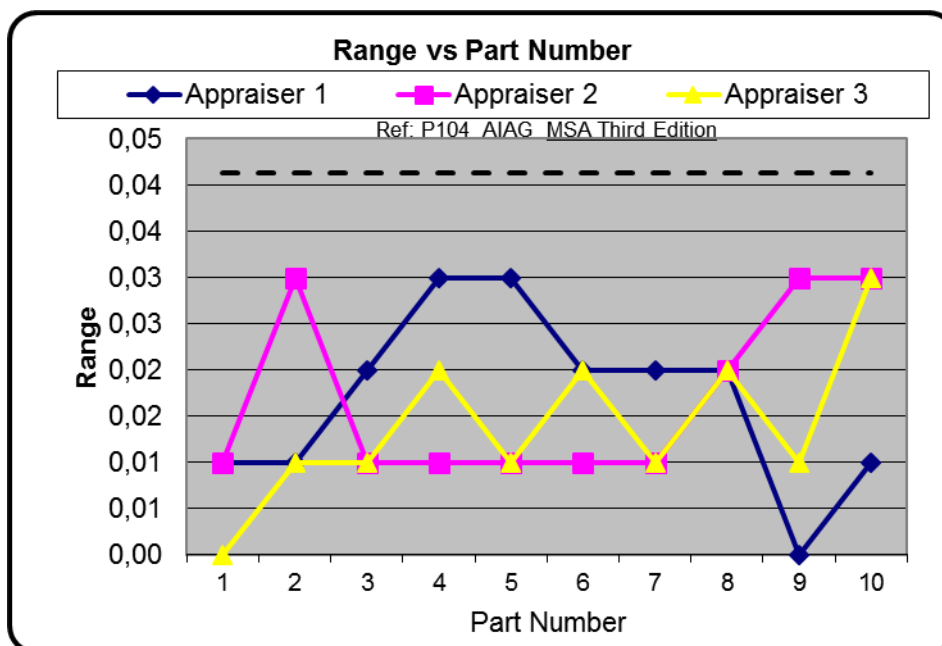
Tutkimusvaiheen jälkeen aloitettiin saatujen tulosten analysoiminen. Opinnäytetyön tuloksiin on kerätty tietoja ja havaintoja tarkastuksen seurantapäivistä sekä tehdystä mittaustestistä. Kehitysehdotuksiin on kerätty pieniä ja yksinkertaisia parannuksia, jotka ovat helposti toteutettavissa.

5.1 MSA

Gage R&R-testin tulokset osoittivat mittaussysteemin olevan hyvässä kunnossa. Ideaalitilanteessa Total Gage -arvo kertoo toistettavuuden ja uusittavuuden yhdistetyn tuloksen. Tätä kutsutaan mittausepävarmuudeksi, minkä täytyisi alittaa raja 20 %. Mittaajat mittasivat hyvin samankaltaisia tuloksia, mikä kertoo hyvästä toistettavuudesta. Saman kappaleen mittausten vaihteluväli pysyi kaikissa mittauksissa 0,00-0,03 mm sisällä. Pieni vaihtelu sadasosan tarkkuuksissa kertoo, että kyseinen mittaussysteemi soveltuu hyvin ohutlevytuotteiden mittaamiseen. Total Gage-arvoksi saatiin 17 % ja toistettavuudeksi (Repeatability) 8,1 %. Saadut tulokset kertovat hyvästä perättäisten mittausten yhtäpitävyydestä. Uusittavuus (Reproduceability) oli hieman suurempi 14,9 %, mikä kertoo mittaajien välisestä vaihtelusta. Koko Gage R&R-testi liitteessä 2, testin kokonaistulos kuvassa 7 ja kappalekohtaiset vaihteluvälit kuvassa 8.

Total Gage R&R <20% Acceptable 20-30% Marginal >30% Unacceptable			
		% Total Variation	% Spec
Repeatability (EV)	0,05	45,1%	8,1%
Reproduceability (AV)	0,09	82,8%	14,9%
Total Gage R&R	0,10	94,3%	17,0%
Part Variation	0,04	33,3%	6,0%
Total Variation	0,11		

Kuva 8. Gage R&R: Total Gage-arvo.



Kuva 9. Gage R&R: Kappalekohtaiset vaihteluvälit.

5.2 Kehitysehdotukset

Käsimittalaitteiden päivittäisen kalibroinnin aloittaminen. Käsimittalaitteita ei tällä hetkellä kalibroida, joten niiden tarkkuus heikkenee ajan kuluessa. Mittanormaaleja eli mittapaloja tulisi hankkia työpisteille ja tarkastusvaiheeseen, joissa työntekijät tarkistaisivat päivittäin mittalaitteidensa kunnon. Tämä toimintatapa varmistaa käsimittaleiden oikeanlaisen toiminnan ja parantaa mittaustulosten yhteneväisyyttä.

Lisävalaistuksen asentaminen tarkastuspisteelle. Kaikessa mittaustoiminnassa hyvä valaistus on tärkeää, koska se helpottaa mittaustulosten, piirustusten sekä teknisten dokumenttien luettavuutta. Tällä hetkellä hallin yleisvalaistus on hyvä, mutta korkean katon johdosta valonmäärä on heikentynyt tarkastuspisteen tasolla. Lisävalaistuksen asennus matalammalle kasvattaa valon määrää tarkastuspisteellä huomattavasti.

Mittauspöytien pinnoitteen uusiminen. Tällä hetkellä pöytien kumipinnoite on vaurioitunut painavien ja terävien kappaleiden johdosta. Epätasainen pinta vaikeuttaa mittaamista ja ”hyvän kohdan” etsiminen vie aikaa. Edullisin ratkaisu on uusia pelkät kumipinnoitteet, mutta mittaamisen kannalta parempia pintoja on kovemmat materiaalit. Vaikka tämän hetkiset mittaustarkkuudet eivät välttämättä vaadi kivi- tai valurautapintaisia pöytiä, niiden tuoma kestävyys ja pitkäikäisyys tarjoaisi hyvät mittauspinnat useiksi vuosiksi.

5.3 Yhteenveto

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tehtyä selvitys nykytilasta, mittaussysteemiä testaava tutkimus sekä kokoelma laitehankinta- ja kehitysehdotuksia. Nykytilan selvityksellä saatiin selville tämänhetkiset toimintatavat ja käytännöt. Mittaustestillä saatiin otos mittaamisen tämän hetkisestä tarkkuudesta ja sen vaihteluista. Kehitysehdotuksiin löytyi toteutettavissa olevia vaihtoehtoja tarkastusvaiheen parantamiseksi.

Työn aloittaminen lähti hyvin liikkeelle entuudestaan tutussa ympäristössä. Perehtyminen mittaamiseen teoriaan vei suunniteltua enemmän aikaa. Tämän johdosta loppua kohden työmäärä kasvoi, silti opinnäytetyö valmistui ajallaan. Työ oli haastava ja opettavainen, koska aihe sisälsi uusia asioita mm. asiakasvierailun, mittaustestin järjestämisen sekä mittaustekniikan teoriaan liittyvät asiat.

Opinnäytetyöprojektin päättyessä ei tuloksia ehditty tarkemmin käsitellä työn tilaajan kanssa. Työn tulokset jäävät kohdeyritykselle pohjaksi suunniteltaessa uusia hankintoja ja parannuksia tarkastusvaiheelle.

LÄHTEET

- /1/ Esala, V-P., Lehto, H. & Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Teknologiateollisuus ry. Tekninen tiedotus 3. Helsinki, Teknologiainfo Teknova Oy
- /2/ Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2002. Six sigma - Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Hollola: Quality Knowhow Karjalainen Oy.
- /3/ SFS 5803. Meistotekniikka. Leikatut, taivutetut ja syvävedetyt teräskappaleet. Yleistoleranssit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 1996.
- /4/ SFS-EN 22768-1. Yleistoleranssit. Osa 1: Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 1993.
- /5/ SFS-EN 22768-2. Yleistoleranssit. Osa 2: Ilman toleranssimerkintää olevien elementtien geometriset toleranssit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 1993.
- /6/ Hautamäki, K. Laaduntarkastaja. Kohdeyritys. Haastattelut maaliskuusta huhtikuuta 2017.
- /7/ Salo, J. Laaduntarkastaja. Kohdeyritys. Haastattelut maaliskuusta huhtikuuta 2017.
- /8/ Vogel Digital Measuring Tape, Viitattu 27.4.2017 <https://shop.vogel-germany.de/Tape-Measures--Spirit-Levels--Laser-Distance-Meters--Stopwatches/Digital-Measuring-Tapes/digital-measuring-tape-graduation-mm-inch-5-m-16-ft.html>
- /9/ Faro Gage Features, Benefits & Technical Specifications, Viitattu 10.4.2017. <http://www2.faro.com/site/resources/share/543>
- /10/ Mitutoyo Cast Iron Surface Plate, Viitattu 10.4.2017. [http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1300091726531/Cast%20Iron%20Surface%20Plate%2C%20DIN%20876/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/902-106/index.xhtml](http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1300091726531/Cast%20Iron%20Surface%20Plate%2C%20DIN%20876/$catalogue/mitutoyoData/PR/902-106/index.xhtml)
- /11/ Mitutoyo Granite Surface Plate, Viitattu 10.4.2017. [http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1299832104265/Granite%20Surface%20Plate%2C%20DIN%20876/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/901-105/index.xhtml](http://mitutoyo.incony.de/web/mitutoyo/en_GB/mitutoyo/1299832104265/Granite%20Surface%20Plate%2C%20DIN%20876/$catalogue/mitutoyoData/PR/901-105/index.xhtml)

Liite 1

x

Liite 2

x